



## DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets <sup>6</sup> : <b>H01L 21/20, 21/762, 21/265</b>	AI	(11) Numéro de publication internationale: <b>WO 99/39378</b> (43) Date de publication internationale: <b>5 août 1999 (05.08.99)</b>
<p>(21) Numéro de la demande internationale: <b>PCT/FR99/00197</b></p> <p>(22) Date de dépôt international: <b>1er février 1999 (01.02.99)</b></p> <p>(30) Données relatives à la priorité: <b>98/01172 2 février 1998 (02.02.98) FR</b></p> <p>(71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): <b>S.O.I.TEC SILICON ON INSULATOR TECHNOLOGIES [FR/FR];</b> Parc Technologique des Fontaines, Chemin des Franques, F-38190 Bemin (FR).</p> <p>(72) Inventeur; et (75) Inventeur/Déposant (US seulement): <b>AUBERTON-HERVE, André-Jacques [FR/FR]; 94, avenue de Karben, F-38120 Saint-Egrève (FR).</b></p> <p>(74) Mandataires: <b>MARTIN, Jean-Jacques etc.; Cabinet Regimbeau, 26, avenue Kléber, F-75116 Paris (FR).</b></p>	<p>(81) Etats désignés: <b>JP, KR, US, brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</b></p> <p><b>Publiée</b> <i>Avec rapport de recherche internationale.</i> <i>Avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues.</i></p>	

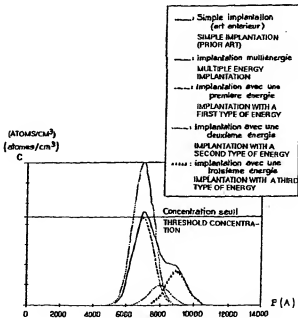
(54) Title: **METHOD FOR FORMING CAVITIES IN A SEMICONDUCTOR SUBSTRATE BY IMPLANTING ATOMS**(54) Titre: **PROCEDE DE FORMATION DE CAVITES DANS UN SUBSTRAT SEMI-CONDUCTEUR, PAR IMPLANTATION D'ATOMES**

## (57) Abstract

The invention concerns a method for treating substrates, in particular semiconductors, by implanting atoms so as to produce a substrate of cavities at a controlled depth, characterised in that it comprises steps which consist in: implanting atoms in the substrate at a first depth, to obtain a first concentration of atoms at said first depth; implanting atoms in the substrate at a second depth, different from the first, to obtain at said second depth, a second concentration of atoms, lower than the first; carrying out on the substrate a treatment for causing at least part of the atoms implanted in said second depth to migrate towards the first depth so as to create the cavities at the first depth preferably.

## (57) Abrégé

L'invention concerne un procédé de traitement de substrats, notamment semi-conducteurs, par implantation d'atomes, dans le but de créer dans un substrat des cavités à une profondeur contrôlée, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à: implanter des atomes dans le substrat à une première profondeur, pour obtenir une première concentration d'atomes à cette première profondeur; implanter des atomes dans le substrat à une deuxième profondeur différente de la première, pour obtenir à cette deuxième profondeur une deuxième concentration d'atomes, inférieure à la première; effectuer sur le substrat un traitement apte à faire migrer vers la première profondeur au moins une partie des atomes implantés à la deuxième profondeur, de manière à générer préférentiellement les cavités à la première profondeur.



# UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AL	Albanie	ES	Espagne	LS	Lesotho	SI	Slovénie
AM	Arménie	FI	Finlande	LT	Lituanie	SK	Slovaquie
AT	Autriche	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Sénégal
AU	Australie	GA	Gabon	LV	Lettonie	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaïdjan	GB	Royaume-Uni	MC	Monaco	TD	Tchad
BA	Bosnie-Herzégovine	GE	Géorgie	MD	République de Moldova	TG	Togo
BB	Barbade	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tadjikistan
BE	Belgique	GN	Guinée	MK	Ex-République yougoslave de Macédoine	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Grèce	ML	Mali	TR	Turquie
BG	Bulgarie	HU	Hongrie	MN	Mongolie	TT	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	IE	Irlande	MR	Mauritanie	UA	Ukraine
BR	Bразил	IL	Israël	MW	Malawi	UG	Ouganda
BY	Bélarus	IS	Islande	MX	Mexique	US	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	IT	Italie	NE	Niger	UZ	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	JP	Japon	NL	Pays-Bas	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NO	Norvège	YU	Yougoslavie
CH	Suisse	KG	Kirghizistan	NZ	Nouvelle-Zélande	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	République populaire démocratique de Corée	PL	Pologne		
CM	Cameroun	KR	République de Corée	PT	Portugal		
CN	Chine	KZ	Kazakhstan	RO	Roumanie		
CU	Cuba	LC	Sainte-Lucie	RU	Fédération de Russie		
CZ	République tchèque	LI	Liechtenstein	SD	Soudan		
DE	Allemagne	LK	Sri Lanka	SE	Suède		
DK	Danemark	LR	Libéria	SG	Singapour		
EE	Estonie						

PROCEDE DE FORMATION DE CAVITES DANS UN SUBSTRAT SEMICONDUCTEUR, PAR IMPLANTATION D'ATOMES

La présente invention concerne le domaine des substrats, notamment pour composants électroniques ou optiques. Plus précisément, elle concerne un procédé pour préparer des substrats, notamment semi-conducteurs, qui seront utilisés pour réaliser ces composants, ou même un procédé contribuant à la réalisation de ces composants eux-mêmes sur un substrat.

On connaît déjà, par le document US 5 374 564 de M. Bruel, un procédé de fabrication de films minces de matériaux semi-conducteurs comprenant l'exposition d'une plaquette de matériau semi-conducteur,

- à une étape de bombardement d'une face du substrat avec des ions, afin d'implanter ces ions en concentration suffisante pour créer une couche de microcavités,
- à une étape de mise en contact intime de cette face du substrat avec un raidisseur, et
- à une étape de traitement thermique pour générer un clivage du substrat au niveau de la couche de microcavités.

Ce procédé est par exemple utilisé pour la réalisation d'un film mince de silicium sur isolant, ce film mince étant constitué de la partie du substrat restée sur le raidisseur après clivage.

Avec ce type de procédé, la zone où s'effectue l'implantation est perturbée, ce qui conditionne l'homogénéité du film mince et sa rugosité au niveau des surfaces situées de part et d'autre de la surface de clivage. Il est donc ensuite nécessaire de réaliser des traitements pour éliminer les défauts, les rugosités, etc.. Ces traitements consistent, par exemple, à polir les surfaces et/ou guérir la structure cristalline par recuit. Or, plus les zones perturbées sont étendues en profondeur, plus ces traitements sont longs et plus l'homogénéité d'épaisseur du film mince et du substrat restant après clivage, en est affectée.

D'autre part, il est connu que l'on peut utiliser les micropores du silicium poreux pour réaliser des composants électroluminescents ou

photoluminescents. Or, ces micropores obtenus par des moyens électrochimiques présentent une étendue et une taille importantes qui peuvent limiter la qualité des phénomènes luminescents que l'on cherche à exploiter. Il serait donc avantageux de disposer de substrats semi-conducteurs, ayant des cavités dont les dimensions sont mieux contrôlées et s'étendent sur une profondeur mieux localisée, afin de réaliser des composants luminescents présentant de meilleures performances.

Un but de la présente invention est de proposer un procédé permettant de mieux contrôler la localisation, la formation et la croissance de cavités.

Ce but est atteint selon l'invention, grâce à un procédé de traitement de substrats, notamment semi-conducteurs, par implantation d'atomes, dans le but de créer dans un substrat, des cavités à une profondeur contrôlée, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à :

- planter des atomes dans le substrat à une première profondeur, pour obtenir une première concentration d'atomes à cette première profondeur ;

- planter des atomes dans le substrat à une deuxième profondeur différente de la première, pour obtenir à cette deuxième profondeur, une deuxième concentration d'atomes, inférieure à la première ;

- effectuer sur le substrat, un traitement apte à faire migrer vers la première profondeur, au moins une partie des atomes implantés à la deuxième profondeur, de manière à générer préférentiellement les cavités à la première profondeur.

Lorsque l'on fait pénétrer des atomes dans un substrat à partir d'une surface de ce substrat, par exemple par implantation, ils se distribuent dans celui-ci. La concentration de ces atomes dans le substrat a un profil de distribution en fonction de la profondeur qui forme un pic avec un maximum à une certaine profondeur. Ce pic a une largeur, pour une concentration donnée, qui est d'autant plus importante que le nombre d'atomes ayant pénétré dans le substrat est important. La présence de ces atomes dans le substrat perturbe celui-ci et l'étendue de la zone perturbée est d'autant plus

grande que le pic, à une concentration donnée, est large. Or, certains effets particuliers, comme une fragilisation du substrat suffisante pour pouvoir le cliver, ou la formation de microcavités pour obtenir un effet luminescent, etc., nécessitent une concentration en atomes implantés importante dans la zone où l'on souhaite obtenir l'effet recherché. C'est dans ce type de cas que le procédé selon l'invention est particulièrement intéressant, car il permet de limiter l'étendue en profondeur de la zone perturbée, tout en atteignant la concentration nécessaire à l'obtention des effets désirés.

Le procédé selon l'invention consiste lors d'une étape, à implanter des atomes dans le substrat pour obtenir une première concentration d'atomes formant un premier pic avec une première largeur et un premier maximum situé à une première profondeur. En limitant le nombre d'atomes implantés à cette étape, on peut réduire la largeur, pour une concentration donnée, du profil de concentration. Ceci se traduit par une réduction de l'étendue en profondeur de la zone la plus perturbée par les atomes implantés.

Lors d'une autre étape du procédé selon l'invention, des atomes sont implantés dans le substrat à une deuxième profondeur différente de la première, pour obtenir à cette deuxième profondeur, une deuxième concentration d'atomes, inférieure à la première. On constitue ainsi un réservoir d'atomes implantés, de perturbations structurelles telles que des défauts ou des lacunes générés par les atomes implantés, d'espèces chimiques liées à des atomes implantés, etc., que l'on peut ensuite faire migrer ou reporter dans le voisinage de la première profondeur. Le nombre d'atomes implantés dans ce réservoir est adapté pour que la somme des atomes implantés à la première et à la deuxième profondeurs soit suffisant pour réaliser des cavités à la première profondeur, après un traitement apte à faire migrer, vers la première profondeur, au moins une partie des atomes implantés à la deuxième. Il est entendu que ce traitement peut aussi reporter, de la deuxième profondeur vers la première profondeur, des perturbations structurelles, telles que des défauts ou des lacunes générées par les atomes implantés, et des espèces chimiques liées aux atomes

implantés (V-H<sub>4</sub>). Nous utiliserons par la suite, l'expression générique « espèces liées aux atomes implantés », pour désigner l'ensemble de ces perturbations et de ces espèces chimiques liées aux atomes implantés.

Avec le procédé selon l'invention, on peut donc réduire la largeur du pic réalisé à la première profondeur, en implantant dans le substrat moins d'atomes lors de l'étape d'implantation correspondante, mais obtenir le nombre d'atomes nécessaires à l'obtention de l'effet souhaité, dans le voisinage de la première profondeur par l'apport des atomes implantés, et des diverses espèces liées aux atomes implantés, ayant migré à partir du réservoir.

D'autres aspects, buts et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui suit.

L'invention sera aussi mieux comprise avec l'aide des références aux dessins sur lesquels :

- 15 - la figure 1 représente schématiquement les étapes d'un exemple de mise en œuvre, non limitatif, du procédé selon l'invention ;
- la figure 2 représente un profil de dispersion de la concentration C en ions implantés en fonction de la profondeur P dans le substrat, ce profil correspondant à un mode de mise en œuvre d'un procédé de la technique antérieure ;
- 20 - la figure 3 représente schématiquement le profil de dispersion de la concentration C en atomes implantés en fonction de la profondeur P, dans le substrat, par la mise en œuvre d'un procédé de la technique antérieure ;
- la figure 4 représente, sur un même diagramme, le profil déjà représenté à la figure 2 et un profil de dispersion de la concentration C en atomes implantés en fonction de la profondeur P, ce profil correspondant à un mode de mise en œuvre conforme à l'invention ;
- 25 - la figure 5 représente schématiquement le profil de dispersion de la concentration C en atomes implantés en fonction de la profondeur P, dans le substrat, par la mise en œuvre d'un procédé conforme à la présente invention ; et
- 30 - la figure 6 représente, sur un même diagramme, un autre profil de

dispersion de la concentration C en atomes implantés en fonction de la profondeur P, ce profil correspondant à un mode de mise en œuvre conforme à l'invention.

Selon un mode de mise en œuvre particulier, mais non limitatif, du  
5 procédé selon l'invention, représenté sur la figure 1, celui-ci est utilisé pour la préparation d'un film mince 5, notamment de matériau semi-conducteur.

Plus précisément encore, le mode de mise en œuvre du procédé selon l'invention, détaillé ci-dessous, concerne la réalisation de microcavités dans des substrats 1, pour obtenir par exemple des films minces 5 de  
10 silicium sur isolant.

Par la suite, nous désignerons par microcavités des défauts ou des cavités dans le substrat 1, créés par un ou plusieurs atomes implantés. La forme et la taille des microcavités peuvent être très variables. La forme de ces microcavités peut être globalement sphérique. On parle alors de  
15 microbulles. Mais plus généralement, les microcavités ont une forme de lentille, de cylindre aplati ou une forme plus irrégulière. Leur taille est de l'ordre du nanomètre à quelques centaines de nanomètres. Ces microcavités peuvent contenir une phase gazeuse libre et /ou des atomes du matériau formant les parois des microcavités. Ces microcavités sont  
20 généralement appelées, dans la terminologie anglo-saxonne, « platelets », « microblisters » ou « bubbles ».

Par la suite, nous désignerons par le terme « atome », l'atome aussi bien sous sa forme ionisée que sous sa forme neutre, voire sous une forme moléculaire.

Un substrat 1 de matériau semi-conducteur est soumis à une étape  
25 d'implantation d'atomes pour créer une couche au niveau de laquelle seront formées des microcavités 2 et une couche réservoir (figure 1a); éventuellement à une étape de mise en contact intime d'une face 3 du substrat 1 avec un raidisseur 10 (figure 1b); et une étape de traitement  
30 thermique ou recuit qui permet la diffusion des atomes, et des diverses espèces liées aux atomes implantés, de la couche réservoir vers la couche de microcavités pour faire croître les microcavités (figure 1c). Cette

croissance des microcavités induit des contraintes et la coalescence de certaines d'entre elles. Ce qui aboutit au clivage du substrat 1 au niveau de la couche de microcavités 2.

Comme représenté sur la figure 1, le substrat 1 de matériau semi-conducteur a, par exemple, la forme d'une plaquette, ayant deux faces principales 3, 4 parallèles, dont les dimensions sont très largement supérieures à la distance qui sépare ces deux faces 3, 4, c'est à dire à l'épaisseur de la plaquette. Cette plaquette a par exemple un diamètre de 200 mm (8 pouces) et une épaisseur de 725  $\mu\text{m}$ . Le matériau semi-conducteur est par exemple du silicium monocristallin, dont les faces 3 et 4 sont parallèles aux plans cristallographiques (100).

Le film mince 5 est obtenu à partir du substrat 1. Le film mince 5 est constitué de la matière comprise entre l'une 3 des deux faces 3, 4 et la couche de microcavités 2, au niveau de laquelle le clivage va être provoqué.

L'étape d'implantation des atomes de la couche de microcavités 2 et de la couche réservoir est réalisée préférentiellement en procédant à un bombardement d'ions sur la face 3 du substrat 1 (figure 1a). Ceci est réalisé grâce à un implantateur ionique dont le but est d'accélérer des atomes avec une énergie adaptée à la profondeur d'implantation souhaitée. On peut par exemple procéder à une immersion du substrat 1 dans un plasma en utilisant un champ électrique accélérateur au voisinage du matériau à implanter. On peut aussi envisager, sans s'éloigner de l'esprit de l'invention, de procéder à une implantation par diffusion des espèces atomiques à implanter, dans le substrat 1. Dans ce cas, le profil de distribution de la concentration en fonction de la profondeur dans le substrat 1, n'est plus un pic de type gaussien, mais prend plutôt la forme d'une distribution de Poisson. On appelle alors « profondeur d'implantation », le maximum de cette distribution.

Si un implantateur ionique est utilisé, le choix de la tension d'accélération des ions permet de contrôler leur profondeur d'implantation. Les ions accélérés pénètrent dans le substrat 1 où ils subissent des chocs



avec les atomes de silicium, ainsi qu'un freinage électronique. Ils interagissent donc avec les atomes de silicium et éventuellement créent des liaisons chimiques avec ceux-ci (des liaisons Si-H par exemple, lorsque l'atome implanté est de l'hydrogène).

5 Les deux modes d'interaction, c'est à dire les chocs des atomes implantés avec les atomes de silicium et le freinage électronique, induisent une distribution de la concentration en atomes implantés en fonction de la profondeur d'implantation. Le profil de distribution de la concentration des atomes implantés en fonction de la profondeur d'implantation présente un  
10 maximum (figures 2, 4 et 6). Ce profil est grossièrement de type gaussien, mais il répond à des lois statistiques plus complexes. Ce profil présente une largeur, pour une concentration donnée, d'autant plus grande que la dose d'atomes bombardant la surface de la face 3 est importante. Cette dose détermine la concentration en atomes implantés dans le substrat 1 à une  
15 profondeur donnée. A titre d'exemple, lorsque la face 3 d'une plaquette de silicium monocristallin, correspondant à un plan cristallographique (100), est soumise à un bombardement d'ions H<sup>+</sup> accélérés sous une tension de 150 kV, les atomes implantés se distribuent avec un maximum de concentration qui est situé à environ 1,3 µm de la face 3.

20 Il existe une concentration seuil en atomes implantés au delà de laquelle des microcavités, ou des précurseurs à la croissance de ces microcavités, sont formés avec une taille et en nombre suffisants, pour que la zone où cette concentration seuil est atteinte soit une zone privilégiée de croissance et de coalescence des microcavités, lorsqu'est effectué un  
25 traitement, préférentiellement thermique, apte à faire migrer des atomes implantés et diverses espèces liées aux atomes implantés, au voisinage de cette zone.

Les zones où cette concentration seuil est atteinte ou dépassée, sont aussi celles où interviendront les perturbations les plus importantes et le  
30 clivage. C'est l'étendue en profondeur de ces zones qu'il est avantageux de minimiser.

Dans le mode de mise en œuvre de l'art antérieur, le bombardement

était prolongé en conservant la même tension accélératrice au delà de la concentration seuil, jusqu'à obtenir la concentration en atomes implantés, nécessaire au clivage. De cette manière, on obtenait un seul pic dans le profil de distribution de la concentration en atomes implantés en fonction de la profondeur. La largeur de ce pic unique et son maximum étaient relativement importants (figure 2). La zone perturbée, de largeur  $\Delta P$ , qui en résultait, était en conséquence aussi relativement étendue en profondeur (figure 3). Il s'ensuivait aussi une rugosité importante au niveau des surfaces de part et d'autre du plan de clivage, ainsi que des défauts d'homogénéité du matériau sur une profondeur substantielle à partir de l'interface de clivage.

Dans le mode de mise en œuvre conforme à la présente invention, on procède à une implantation d'atomes avec une première énergie. On obtient un premier pic de distribution de la concentration en fonction de la profondeur d'implantation. Ce premier pic présente un maximum, à la première profondeur, qui correspond à une première concentration maximale. Le bombardement à cette première énergie est arrêté de préférence avant que la concentration atomique seuil n'ait été atteinte. Autrement dit, après l'arrêt du bombardement à cette première énergie, les atomes sont encore en concentration insuffisante dans la région du substrat 1, voisine du maximum du pic de concentration, pour générer des microcavités en taille et en nombre suffisants pour obtenir un clivage dans des conditions souhaitées.

Dans le mode de mise en œuvre de l'invention décrit ici, on réalise ensuite une deuxième et de préférence une troisième implantations, respectivement à une deuxième et une troisième énergies, différentes entre elles et différentes de la première énergie. Un exemple de profil de distribution de la concentration  $C$  en atomes implantés, en fonction de la profondeur  $P$  dans le substrat 1, à partir de la surface 3, obtenue pour ce mode de mise en œuvre de l'invention avec trois énergies d'implantation est représenté sur la figure 4. Pour comparaison avec l'art antérieur, est aussi représenté sur la figure 4, le profil de distribution de la figure 2, obtenu avec

une implantation avec une seule énergie. Sur cette figure est aussi tracé un trait parallèle à l'axe des abscisses, au niveau de la concentration seuil en atomes implantés.

Conformément à l'invention, les atomes bombardés sur la face 3 du substrat 1 avec les deuxième et troisième énergies, sont implantés avec des concentrations maximales inférieures à la concentration maximale en atomes implantés à la première énergie. Après l'implantation aux deuxième et troisième énergies, la concentration atomique totale maximale est supérieure à la concentration seuil.

A titre d'exemple, avec des ions  $H^+$ , implantés dans du silicium orienté (100), avec une énergie comprise entre 60 et 80 keV, la concentration seuil est dépassée dans une zone s'étendant en profondeur sur une distance inférieure à 600 Å, alors qu'avec le procédé selon l'art antérieur, cette distance était supérieure à 800 Å.

Avantageusement, pour déplacer la zone perturbée vers la partie du substrat 1 qui sera éliminée après clivage, les deuxième et troisième énergies sont supérieures à la première énergie.

Les microcavités les plus stables sont celles présentes dans la zone où les atomes implantés sont en plus forte concentration, c'est à dire la zone où ils ont été implantés avec la première énergie. Cette zone est appelée zone de génération de cavités. Des défauts, et des microcavités situées dans les régions du substrat 1 voisines de la zone de génération de cavités, migrent vers les microcavités de cette zone, lors du traitement thermique. La zone à partir de laquelle les atomes implantés, et les diverses espèces liées aux atomes implantés, migrent vers la zone de génération de cavités, est appelée réservoir. Ainsi, en adaptant le nombre d'atomes implantés aux deuxième et troisième énergies, pour qu'ils constituent un réservoir d'atomes suffisamment important, la croissance des microcavités peut s'effectuer jusqu'à leur coalescence et/ou jusqu'à ce que les contraintes induites par cette croissance puissent provoquer un clivage du substrat 1 au niveau de la zone de génération de cavités.

La figure 5 représente schématiquement la zone de génération de

cavités et le réservoir au regard du profil de distribution de la concentration en atomes implantés.

Dans l'exemple de mise en œuvre du procédé selon l'invention illustré par la figure 4, le nombre d'atomes implantés à la première  
5 profondeur est supérieur au nombre d'atomes implantés aux deuxième et troisième profondeurs, et le nombre d'atomes implantés à la deuxième profondeur est inférieur au nombre d'atomes implantés à la troisième  
profondeur. Dans cet exemple, la dose totale d'atomes implantés avec les première, deuxième et troisième énergies est égale à celle utilisée dans le  
10 cas de l'implantation à une seule énergie, de la technique antérieure.

Le procédé de préparation de films minces selon l'invention est optimisé en calibrant les concentrations en atomes implantés aux diverses énergies, pour que la concentration maximale en atomes implantés à l'une  
des énergies soit, avant traitement thermique, la plus proche possible de la  
15 concentration seuil, tout en implantant au total suffisamment d'atomes pour pouvoir faire croître et coalescer les microcavités et/ou générer les contraintes nécessaires pour avoir clivage.

D'une manière générale, on cherche à obtenir un profil de distribution de la concentration en fonction de la profondeur, présentant un pic avec un  
20 épaulement sur son versant le plus profond dans le substrat 1. Le pic doit être intense et bien défini pour optimiser la localisation de la zone de formation des microcavités. L'épaulement doit être bien renflé pour constituer un réservoir suffisamment important en atomes implantés. Ce résultat peut être obtenu de nombreuses manières en réalisant une multi-  
25 implantation à deux, trois, quatre énergies différentes, ou plus encore, pour implanter des atomes à deux, trois, quatre profondeurs, ou plus.

Afin que les atomes implantés ne diffusent pas rapidement hors de la zone située à la profondeur souhaitée ou même hors du matériau semi-conducteur lui-même, la température du substrat 1, est contrôlée et  
30 maintenue préférentiellement entre 20°C et 450°C pendant l'étape d'implantation. Cependant, après l'étape d'implantation, pour faire migrer les atomes implantés et les diverses espèces liées aux atomes implantés,

vers la première profondeur, la température de traitement thermique est avantageusement supérieure à 150°C. Ce traitement thermique doit permettre, en plus de la migration des atomes implantés, un réarrangement cristallin et la coalescence des microcavités, le tout avec une cinétique

5 appropriée.

Avantageusement, les atomes implantés aux première et deuxième profondeurs, se situent dans deux plans parallèles l'un à l'autre, et au maximum espacés l'un de l'autre d'une distance qui est sensiblement inférieure à la distance séparant le plan de la première profondeur de la

10 surface 3 du substrat 1 ou la surface la plus proche du plan de la première profondeur. En effet, lors du traitement thermique, il y a migration des atomes implantés et des diverses espèces liées aux atomes implantés, il est alors nécessaire que les atomes implantés, et les diverses espèces liées aux atomes implantés, aux deuxième et troisième profondeurs

15 puissent atteindre la zone de génération de cavités sans qu'une quantité significative des atomes implantés à la première profondeur n'ait atteint la surface 3 du substrat 1.

Pour de nombreuses applications, on cherche à obtenir un film mince 5 sur une grande surface, voire sur la totalité de la face 3 du substrat 1.

20 Pour ce type d'application, un raidisseur 10 est parfois nécessaire. Le rôle du raidisseur 10 est, entre autre, de limiter l'effet, sur le film mince 5, des contraintes engendrées par la formation et la croissance des microcavités. Le choix de la méthode de fabrication de ce raidisseur 10 et de sa nature est effectué en fonction de chaque application visée pour le film mince. Par

25 exemple, si l'application visée est celle décrite ci-dessus, c'est à dire la réalisation d'un film mince 5 de silicium sur un isolant, le raidisseur 10 est avantageusement un nouveau substrat de silicium recouvert d'oxyde. C'est alors l'oxyde qui est mis en contact intime avec le substrat 1. Ce raidisseur 10 peut être déposé directement sur le substrat 1, à l'aide de techniques de

30 dépôt telles que l'évaporation, la pulvérisation, le dépôt chimique en phase vapeur, assisté ou non par plasma ou par photons, dès lors que l'épaisseur est modérée, c'est à dire de l'ordre de quelques micromètres à quelques

dizaines de micromètres. Le raidisseur 10 peut aussi être collé au substrat 1, soit par une substance adhérent à la fois au raidisseur 10 et au substrat 1, soit par traitement thermique et/ou électrostatique assorti éventuellement d'une pression appropriée pour favoriser les liaisons interatomiques entre le raidisseur 10 et le substrat 1.

L'amélioration principale apportée par le mode de mise en œuvre du procédé selon l'invention, décrit ci-dessus, par rapport à la technique antérieure, est de diminuer l'étendue en profondeur de la zone perturbée et/ou la rugosité sur le film mince 5.

Selon une variante du mode de mise en œuvre du procédé selon l'invention, décrit ci-dessus, la concentration maximale atteinte lors de l'implantation à la première énergie, est supérieure à la concentration seuil (figure 6). Dans ce cas, on obtient une largeur de la zone où la concentration est supérieure à la concentration seuil qui est plus large qu'avec le mode de mise en œuvre précédemment décrit, mais le processus de fabrication peut être accéléré par la diminution des temps de migration.

Pour certaines applications, on ne cherche pas nécessairement à réduire la largeur de la zone perturbée. Par exemple, pour réaliser des films très minces, on peut plutôt chercher à déplacer le barycentre du pic de concentration, vers la région du substrat 1 située du côté du plan de clivage qui comprendra le film mince 5. A cette fin, on réalise une implantation avec une première énergie pour implanter des atomes avec une concentration maximale, éventuellement supérieure à la concentration seuil. Ceci localise le film mince 5 entre la face 3 et le plan où sont implantés ces atomes. Puis on effectue au moins une autre implantation avec une deuxième énergie supérieure à la première énergie, mais de manière à ce que la concentration maximale reste inférieure à celle correspondant à la première énergie. De cette manière, les atomes implantés à l'énergie la plus élevée peuvent constituer un réservoir d'atomes implantés, et de diverses espèces liées aux atomes implantés, aptes à migrer vers la zone où la concentration en atomes implantés est supérieure. Ce réservoir est situé de l'autre côté du film mince 5, par rapport à cette dernière zone. Après clivage, les

régions du substrat 1 perturbées par la formation du réservoir ne font pas partie du film mince 5. En outre, du fait de la réalisation du réservoir, le nombre d'atomes implantés à la première énergie peut être inférieur à ce qu'il devrait être pour une simple implantation. Donc, le pic correspondant à

5 l'implantation à la première énergie peut être moins intense et moins large, ce qui localise mieux la zone où la concentration est supérieure à la concentration seuil, plus loin en profondeur. En déplaçant ainsi le début de cette zone, il est possible de réduire l'épaisseur des films minces 5 que l'on peut réaliser.

10 L'invention prend aussi tout son intérêt lorsque l'on veut implanter à plus haute énergie, par exemple lorsque le film mince 5 est recouvert d'une couche d'oxyde épaisse. En effet, plus l'énergie est élevée, plus la dispersion est grande et plus le pic de distribution de la concentration en fonction de la profondeur est large et, par conséquent, plus la zone

15 perturbée est grande. L'invention, en permettant de limiter la largeur de la zone perturbée, permet de limiter les traitements destinés à ôter cette zone et permet d'obtenir des films minces 5 plus homogènes en épaisseur.

Dans ce qui précède, les qualificatifs « premier », « deuxième » et « troisième » ne sont pas utilisés pour spécifier un quelconque ordre

20 opératoire. Ainsi, les implantations effectuées avec les deuxième et troisième énergies peuvent être réalisées avant celle effectuée à la première énergie.

Dans l'exemple de mise en œuvre du procédé selon l'invention décrit ci-dessus et représenté sur la figure 1, celui-ci comprend une étape de

25 traitement thermique permettant la diffusion des atomes et des diverses espèces liées aux atomes implantés, de la couche réservoir vers la couche de génération des microcavités. Cette étape de traitement thermique est réalisée après mise en contact intime du substrat 1 avec un raidisseur 10. Cependant, selon d'autres variantes du procédé selon l'invention, cette

30 étape de traitement thermique est commencée pendant l'une des étapes, ou l'ensemble des étapes, d'implantation.

Selon encore d'autres variantes, cette étape de traitement thermique

est commencée après implantation et est achevée au cours d'un recuit après mise en contact intime du substrat 1 avec un raidisseur 10.

Selon encore d'autres variantes, lorsque l'emploi d'un raidisseur 10 n'est pas nécessaire, cette étape de traitement thermique est réalisée  
5 entièrement pendant les étapes d'implantation, ou est commencée pendant les étapes d'implantation et achevée ensuite, etc.

Selon encore d'autres variantes, des étapes de traitement thermique sont intercalées entre les différentes étapes d'implantation.

Dans l'exemple de mise en œuvre du procédé selon l'invention décrit  
10 ci-dessus, une seule espèce d'atomes, l'hydrogène, est utilisé. Pour certaines applications, il est avantageux que les atomes implantés soient des atomes de gaz rare. Avantageusement aussi, plusieurs espèces atomiques peuvent être utilisées pour un même traitement du substrat 1. Les autres espèces atomiques pouvant être utilisées sont par exemple,  
15 l'hélium, l'argon, le néon, le krypton ou le xénon. Mais on peut utiliser tout autre atome susceptible de créer des microcavités ou une zone de fragilisation dans le matériau qui subit le traitement.

Chaque espèce atomique peut être accélérée à une énergie différente ou même plusieurs espèces atomiques peuvent être accélérées  
20 avec la même énergie.

Dans l'exemple de mise en œuvre du procédé selon l'invention, décrit ci-dessus, le clivage est obtenu grâce aux contraintes imposées par la croissance des microcavités et la coalescence de celles-ci. Ces effets sont induits par la migration, provoquée par le traitement thermique, des  
25 atomes implantés, et des diverses espèces liées aux atomes implantés, aux deuxième et troisième énergies. Ce traitement thermique peut être combiné avec une contrainte mécanique apte à faciliter ou provoquer un clivage au niveau des microcavités. Cette contrainte mécanique est, par exemple, générée par un effort de cisaillement, de traction, etc. ou des ultrasons.  
30 Cette variante de mise en œuvre du procédé selon l'invention, est particulièrement utile lorsque l'on se contente de fragiliser le substrat 1 au niveau de la zone de génération de cavités, sans nécessairement faire



croître ces microcavités jusqu'à leur coalescence et un clivage, par exemple en n'utilisant le traitement thermique que pour faire migrer les atomes implantés et les diverses espèces liées aux atomes implantés du réservoir vers la zone de génération de cavités

- 5 Dans l'exemple de mise en œuvre du procédé selon l'invention décrit ci-dessus, le matériau du substrat 1 est un semi-conducteur, et plus précisément du silicium monocristallin, poreux ou non. Mais le procédé selon l'invention est applicable à des substrats de tout autre matériau, semi-conducteur ou non (comme la silice par exemple), pris dans un état  
10 monocristallin, polycristallin, ou même amorphe. Ces différents états peuvent, par ailleurs, avoir été rendus poreux ou non.

Avantageusement aussi, le procédé selon l'invention peut être mis en œuvre sur un substrat 1 comprenant sur sa face 3, au moins un élément lui conférant une structure hétérogène par la nature du matériau de cet  
15 élément ou par les reliefs que cet élément génère sur cette face 3. Cette structure hétérogène est par exemple constituée d'un composant électronique ou d'une structure multicouche homogène ou hétérogène.

- Dans l'exemple de mise en œuvre du procédé selon l'invention décrit ci-dessus, le matériau du raidisseur 10 est du silicium recouvert d'oxyde.  
20 Mais le procédé selon l'invention est applicable à des raidisseurs 10 de tout autre matériau, semi-conducteur ou non (comme la silice par exemple), pris dans un état monocristallin, polycristallin, ou même amorphe. Ces différents états peuvent, par ailleurs, avoir été rendus poreux ou non.

- Avantageusement aussi, le procédé selon l'invention peut être mis en œuvre avec un raidisseur 10 comprenant sur sa face de mise en contact  
25 avec le substrat 1, au moins un élément lui conférant une structure hétérogène par la nature du matériau de cet élément ou par les reliefs que cet élément génère sur cette face. Cette structure hétérogène est par exemple constituée d'un composant électronique ou d'une structure  
30 multicouche homogène ou hétérogène.

Dans l'exemple de mise en œuvre du procédé selon l'invention décrit ci-dessus, et représenté sur la figure 1, celui-ci comprend une étape de

mise en contact intime d'une face 3 du substrat 1 avec un raidisseur 10. Cependant un raidisseur 10 n'est pas toujours nécessaire. C'est le cas notamment lorsque la zone de génération de microcavités est assez profonde pour que la partie située entre cette zone et la face 3 soit  
5 suffisamment épaisse pour jouer elle-même le rôle de raidisseur. Ce film 5, obtenu de cette manière, est alors qualifié de « structure autoportée ».

Le procédé selon l'invention est aussi applicable à des substrats 1 d'isolant, de supraconducteur, etc. D'une manière générale, il sera  
avantageusement utilisé avec les matériaux pour fabriquer des composants  
10 électroniques, optiques ou opto-électroniques.

### REVENDEICATIONS

1. Procédé de traitement de substrats, notamment semi-conducteurs, par implantation d'atomes, dans le but de créer dans un substrat (1) des
- 5 cavités à une profondeur contrôlée, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à:
- planter des atomes dans le substrat (1) à une première profondeur, pour obtenir une première concentration d'atomes à cette première profondeur ;
- 10 - planter des atomes dans le substrat (1) à une deuxième profondeur différente de la première, pour obtenir à cette deuxième profondeur, une deuxième concentration d'atomes, inférieure à la première ;
- effectuer sur le substrat (1), un traitement apte à faire migrer vers la première profondeur, au moins une partie des atomes implantés à la
- 15 deuxième profondeur, de manière à générer préférentiellement les cavités à la première profondeur.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait que le traitement apte à faire migrer au moins une partie des atomes implantés, est aussi apte à reporter, vers la première profondeur, des perturbations
- 20 structurelles et des espèces chimiques liées aux atomes implantés, créées à la deuxième profondeur par les atomes implantés à cette deuxième profondeur.
3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que le traitement apte à faire migrer au moins une partie des
- 25 atomes implantés à la deuxième profondeur et à reporter, vers la première profondeur, des perturbations structurelles et des espèces chimiques liées aux atomes implantés, est un traitement thermique.
4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que les cavités formées à la première profondeur constituent une
- 30 zone de fragilisation, au niveau de laquelle peut être effectué un clivage du substrat (1).
5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé par le

fait qu'il est appliqué au traitement de substrats destinés à la réalisation de composants électroluminescents ou photoluminescents.

6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que les atomes implantés sont des atomes d'hydrogène ou de gaz rare.

7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que plusieurs espèces atomiques sont utilisées pour un même traitement du substrat (1).

8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait qu'au moins une étape consistant à faire pénétrer des atomes dans le substrat (1) est réalisée par bombardement ionique.

9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé par le fait qu'au moins une des étapes d'implantation des atomes dans le substrat (1) est réalisée par immersion du substrat (1) dans un plasma.

10. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les atomes sont respectivement implantés aux première et deuxième profondeurs, dans deux plans parallèles l'un à l'autre, et au maximum espacés l'un de l'autre d'une distance qui est sensiblement inférieure à la distance séparant le plan situé à la première profondeur de la surface (3) du substrat (1) la plus proche de celui-ci.

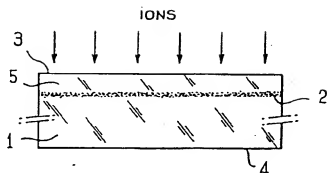
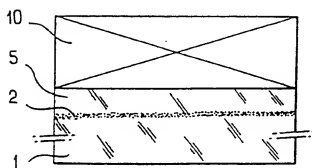
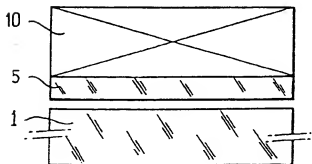
11. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé par le fait que l'on réalise une multi-implantation, pour implanter des atomes à plusieurs profondeurs différentes, de manière à obtenir un profil de distribution de la concentration présentant un pic avec un épaulement sur son versant le plus profond.

12. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que l'on réalise l'implantation des atomes à trois profondeurs différentes.

13. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le nombre d'atomes implantés à la première profondeur est supérieure au nombre d'atomes implantés aux deuxième et troisième profondeurs, et en ce que le nombre d'atomes implantés à la deuxième

profondeur est inférieur au nombre d'atomes implantés à la troisième profondeur.

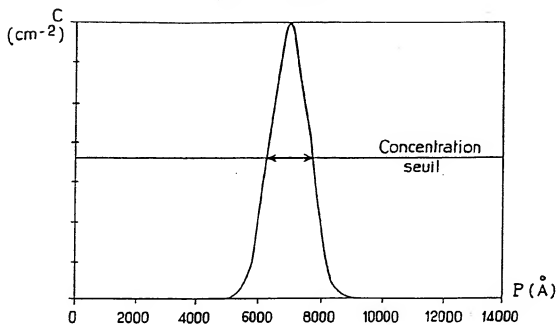
1 / 4

FIG. 1aFIG. 1bFIG. 1c

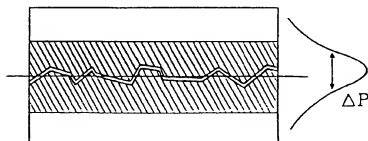
2 / 4

FIG. 2

ART ANTERIEUR

FIG. 3

ART ANTERIEUR



3 / 4

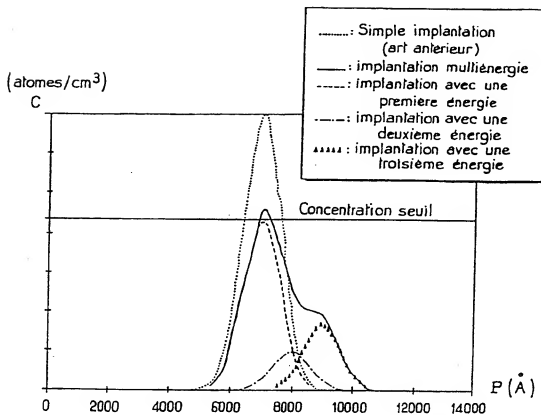


FIG. 4

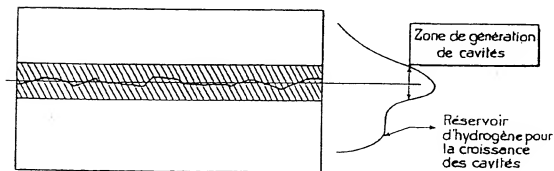
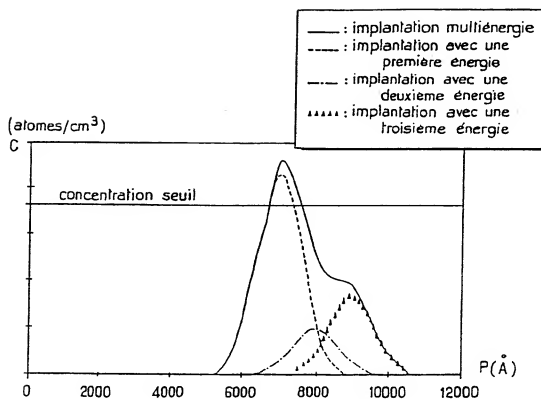


FIG. 5



4 / 4

FIG.6

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/FR 99/00197

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 6 H01L21/20 H01L21/762 H01L21/265

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 801 419 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 15 October 1997 see column 1, line 1 - line 14 see column 2, line 5 - line 19 see column 5, line 8 - line 11 see column 5, line 33 - column 6, line 29 see column 7, line 20 - column 8, line 32; figures 1-4 see column 8, line 54 - column 9, line 22; claims 1-4,6,9	1-4, 6, 8, 10-12
Y	---	5, 7, 9, 13
Y	EP 0 703 609 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 27 March 1996 see column 1, line 5 - line 14 see column 6, line 19 - line 46 ---	5
	--- -/-	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"B" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

28 May 1999

Date of mailing of the international search report

07/06/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3015

Authorized officer

Klopfenstein, P

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/FR 99/00197

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 5 374 564 A (BRUEL MICHEL) 20 December 1994 cited in the application see column 2, line 15 - line 48 see column 3, line 10 - line 46 see column 4, line 39 - line 50 see column 5, line 1 - column 6, line 12; figures 1-4	7
A	---	1-6,8,10
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 010, no. 034 (P-427), 8 February 1986 & JP 60 182090 A (FUJITSU KK), 17 September 1985 see abstract	9
Y	---	
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 010, no. 264 (P-495), 9 September 1986 -& JP 61 087296 A (FUJITSU LTD), 2 May 1986 see abstract	13
A	---	
A	GB 2 211 991 A (ATOMIC ENERGY AUTHORITY UK) 12 July 1989 see page 1, line 4 - page 2, line 13 see page 3, line 1 - line 31; figure 1 -----	1-4,6,8, 10

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 99/00197

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0801419 A	15-10-1997	FR 2747506 A	17-10-1997
		JP 10041242 A	13-02-1998
		SG 52946 A	28-09-1998
EP 0703609 A	27-03-1996	FR 2725074 A	29-03-1996
		JP 8097389 A	12-04-1996
		US 5863830 A	26-01-1999
US 5374564 A	20-12-1994	FR 2681472 A	19-03-1993
		EP 0533551 A	24-03-1993
		JP 5211128 A	20-08-1993
GB 2211991 A	12-07-1989	NONE	

C. nde internationale No  
PCT/FR 99/00197

Formulaire PCT/ISA/210 (deuxième feuille) (juillet 1992)

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

D   nde Internationale No  
PCT/FR 99/00197

## C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	US 5 374 564 A (BRUEL MICHEL) 20 décembre 1994 cité dans la demande voir colonne 2, ligne 15 - ligne 48 voir colonne 3, ligne 10 - ligne 46 voir colonne 4, ligne 39 - ligne 50 voir colonne 5, ligne 1 - colonne 6, ligne 12; figures 1-4	7
A	---	1-6,8,10
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 010, no. 034 (P-427), 8 février 1986 & JP 60 182090 A (FUJITSU KK), 17 septembre 1985 voir abrégé	9
Y	---	
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 010, no. 264 (P-495), 9 septembre 1986 -& JP 61 087296 A (FUJITSU LTD), 2 mai 1986 voir abrégé	13
A	---	
A	GB 2 211 991 A (ATOMIC ENERGY AUTHORITY UK) 12 juillet 1989 voir page 1, ligne 4 - page 2, ligne 13 voir page 3, ligne 1 - ligne 31; figure 1	1-4,6,8, 10

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

D .nde internationale No  
PCT/FR 99/00197

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0801419 A	15-10-1997	FR 2747506 A JP 10041242 A SG 52946 A	17-10-1997 13-02-1998 28-09-1998
EP 0703609 A	27-03-1996	FR 2725074 A JP 8097389 A US 5863830 A	29-03-1996 12-04-1996 26-01-1999
US 5374564 A	20-12-1994	FR 2681472 A EP 0533551 A JP 5211128 A	19-03-1993 24-03-1993 20-08-1993
GB 2211991 A	12-07-1989	AUCUN	